

# Caractérisation de la conductivité thermique radiale de fibres de carbone de type PAN par la méthode 3omega

Rodrigo OLAYA<sup>(1\*)</sup>, Ketaki MISHRA<sup>(1)</sup>, Bertrand GARNIER<sup>(1)</sup>

## Introduction

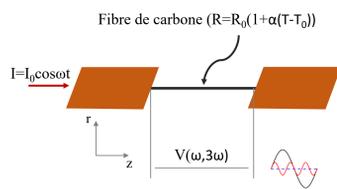
- Afin de développer des modèles de prédiction de la conductivité effective de la fibre de carbone, il est nécessaire de connaître ses propriétés thermiques.
- Il existe nombreuses recherches dédiées à la mesure de la conductivité thermique axiale de la fibre de carbone mais beaucoup moins sur la conductivité thermique radiale
- la mesure des propriétés thermiques des fibres de carbone est difficile en raison de leur faible diamètre typiquement entre 5 et 10 μm et également en raison de leur anisotropie
- La méthode 3ω est intéressante car elle permet de mesurer simultanément plusieurs propriétés thermiques notamment la conductivité thermique axiale et la capacité thermique volumique des fibres
- Objectif:** Mesurer la **conductivité thermique radiale** des fibres de carbonés par la méthode 3ω

## Modèle thermique analytique 2D

Courant  $I(\omega) \rightarrow$  Température  $(2\omega) \rightarrow$  Tension  $(\omega, 3\omega)$

$$V = IR = I(R_0(1 + \alpha_e(T - T_0)) = IR_0 + IR_0\alpha_e(T - T_0) = f(\omega) + g(3\omega)$$

$$V_{3\omega} = IR_0\alpha_e\Delta T$$



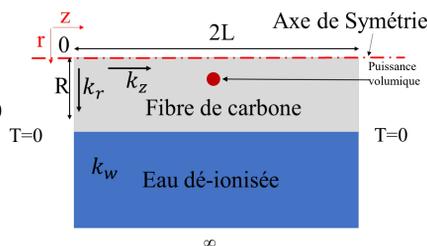
Les équations aux dérivées partielles

**Fibre de carbone**  $k_r \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + k_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - \rho c \frac{\partial T}{\partial t} = -P$

**Eau:**  $k_w \left( \frac{\partial^2 T_w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_w}{\partial r} \right) + k_w \frac{\partial^2 T_w}{\partial z^2} - \rho_w c_w \frac{\partial T_w}{\partial t} = 0$

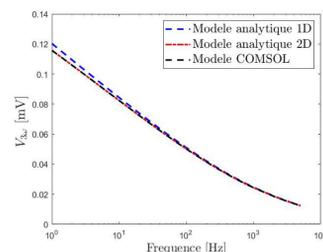
Température moyenne de la fibre:

$$\bar{T} = \left\| \left( \frac{2}{L^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\tilde{\theta}(Y_n)}{\beta_n} \right) e^{2\omega j t} \right\|$$

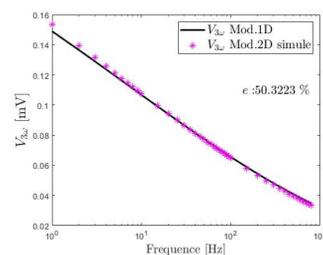


## Comparaison entre modèle 1D et 2D

- Un modèle éléments finis permet de valider le modèle thermique analytique 2D
- Bon accord entre les versions analytique et numérique des modèles thermiques 2D.
- La réponse d'un modèle 1D montre des valeurs légèrement supérieures aux modèles 2D.



- Les écarts de tension  $V_{3\omega}$  entre les modèles 1D et 2D sont autour de 8% en induisant un biais sur l'estimation de  $k_r$  d'environ 50%

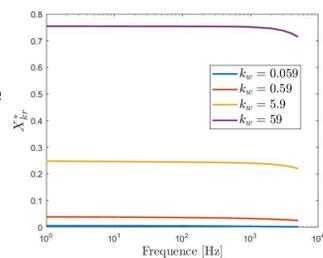
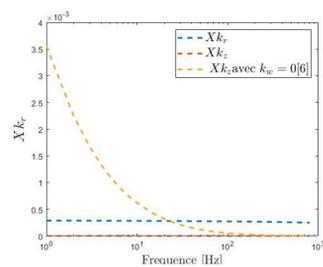


## Analyse de sensibilité

Optimisation des conditions opératoires telles que:  
**Gamme de fréquences**  
**type de milieu environnant**

Le fait de placer un milieu autour de la fibre de carbone donne de la sensibilité de la tension  $3\omega$  à  $k_r$

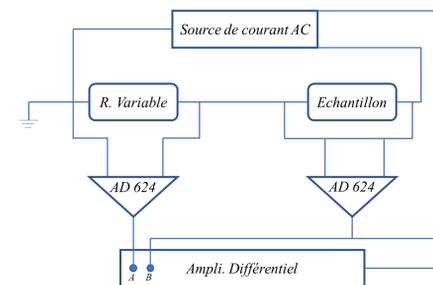
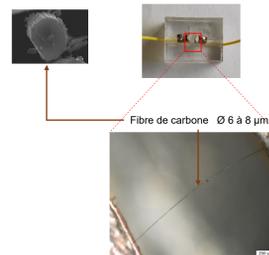
Il serait possible d'augmenter la sensibilité à  $k_r$  en remplaçant l'eau par un autre matériau de plus forte conductivité



## Echantillons et dispositif expérimental

Constitué de deux petites sections d'une carte de circuit électronique FR4 collées sur un bloc de polycarbonate.

L'ensemble est immergé dans de l'eau dé-ionisée



**Keithley 6221** source de courant et générateur de fréquences.  
**R. Variable** résistance variable pour équilibrer le signal  $1\omega$  avec l'échantillon  
**R. Echantillon** résistance électrique de l'échantillon  
**Amplificateur à détection synchrone** détection de la tension  $3\omega$  dans l'échantillon

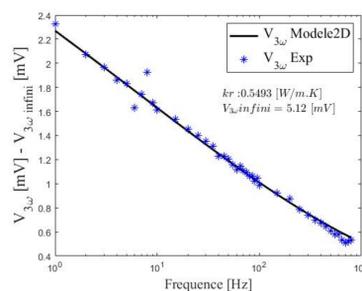
## Résultats expérimentaux et conclusions

$k_r$  a été estimée à partir du modèle analytique 2D.

Le calcul a été réalisé pour trois différentes longueurs de fibre de carbone de type PAN/FT300B.

| Cond. therm. radiale | Fibre de carbone 1 | Fibre de carbone 2 | Fibre de carbone 3 |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| $W.m^{-1}.K^{-1}$    | $L=1,70mm$         | $L=1,73mm$         | $L=0,74 mm$        |
|                      | $\phi=7,45\mu m$   | $\phi=8,58\mu m$   | $\phi=7,45\mu m$   |
| $k_r$                | 0,549              | 0,435/0,652*       | 0,801              |

$\rightarrow$  Les valeurs de  $k_r$  obtenues sont plus de 10 fois inférieures à la valeur de  $k_z$  ( $\sim 10,5 W.m^{-1}.K^{-1}$  Mishra 2019,  $k_z$ =conductivité axiale)



## Conclusions

- Le développement d'un modèle thermique bidimensionnel en régime périodique permet de prendre en compte les transferts radiaux mais aussi axiaux, ceux-ci ayant un grand impact lors de l'estimation de la conductivité thermique radiale.
- Une analyse de sensibilité est nécessaire pour connaître la gamme de fréquence optimale et le milieu environnant idéal.
- Les travaux futurs seront dédiés à l'analyse de la résistance thermique de contact entre deux fibres de carbone